

# PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 2001-217777

(43)Date of publication of application : 10.08.2001

(51)Int.Cl.

H04B 10/02  
G02B 5/18  
G02B 6/293

(21)Application number : 2000-383710

(71)Applicant : LUCENT TECHNOL INC

(22)Date of filing : 18.12.2000

(72)Inventor : SPECTOR MAGALY  
NIELSEN TORBEN N  
THOMPSON WILLIAM A

(30)Priority

Priority number : 1999 464832

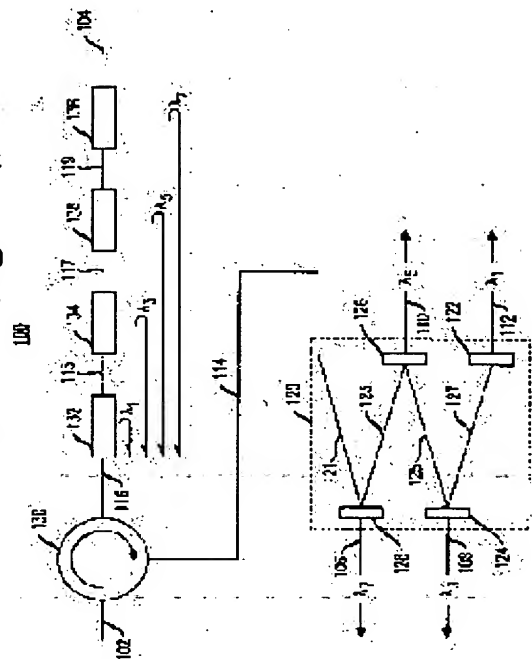
Priority date : 16.12.1999

Priority country : US

(54) OPTICAL WAVELENGTH ADD/DROP MULTIPLEXER AND FILTER ELEMENT TO BE USED THEREFOR

(57)Abstract:

**PROBLEM TO BE SOLVED:** To improve flexibility in the channel selection for an applied optical wavelength-division add/drop multiplexer(WADM) signal at low cost.  
**SOLUTION:** A WADM is formed to branch/insert at least two signals each associated with one of a plurality of channels among wavelength division multiplexed(WDM) signals. A WADM 100 comprises an optical circulator 130 and that optical circulator is optically coupled to at least two of fiber Bragg gratings(FBG) 132, 134, 136 and 138 which are interconnected in series at one port and optically coupled to a thin film filter 120 having at least two thin film filter elements 122, 124, 126 and 128 which are interconnected in series at the other port.



## LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision  
of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's  
decision of rejection]

[Date of extinction of right]

Copyright (C); 1998,2003 Japan Patent Office

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開2001-217777

(P2001-21777A)

(43) 公開日 平成13年8月10日 (2001.8.10)

(51) Int.Cl. <sup>7</sup>	識別記号	F I	テマコード* (参考)
H 0 4 B 10/02		G 0 2 B 5/18	
G 0 2 B 5/18		H 0 4 B 9/00	U
6/293		G 0 2 B 6/28	C
			D

審査請求 未請求 請求項の数38 O L (全 15 頁)

(21) 出願番号 特願2000-383710(P2000-383710)  
(22) 出願日 平成12年12月18日 (2000. 12. 18)  
(31) 優先権主張番号 09/464832  
(32) 優先日 平成11年12月16日 (1999. 12. 16)  
(33) 優先権主張国 米国 (US)

(71) 出願人 596077259  
ルーセント テクノロジーズ インコーポ  
レイテッド  
Lucent Technologies  
Inc.  
アメリカ合衆国 07974 ニュージャージ  
ー、マレーヒル、マウンテン アベニュー  
600-700  
(72) 発明者 マガリー スペクター  
アメリカ合衆国、07733 ニュージャージ  
ー、ホルムデル、ドナー ストリート 15  
(74) 代理人 100081053  
弁理士 三俣 弘文

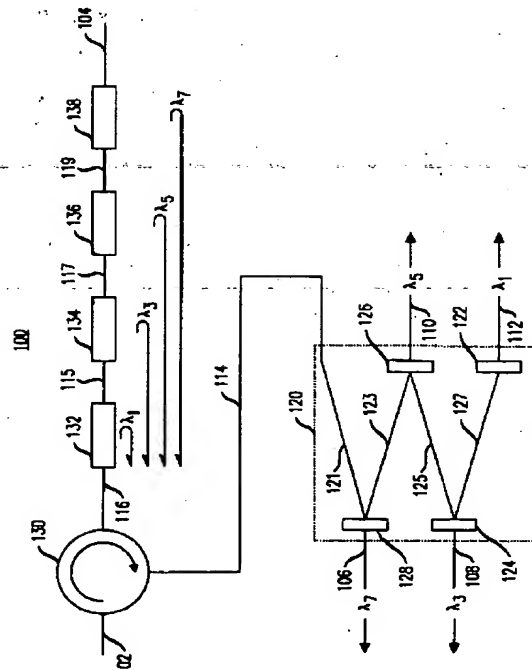
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 光波長分岐／挿入マルチプレクサ及びそれに使用されるフィルタ要素

(57) 【要約】

【課題】 与えられるWADM信号に対するチャネルの  
選択における融通性を安いコストで向上させる。

【解決手段】 光波長分岐／挿入マルチプレクサ (WA  
DM) は、波長分割多重 (WDM) 信号における複数の  
チャネルの1つに各々が関連する2つ以上の信号を分岐  
／挿入するように形成されている。WADM100は光  
サーキュレータ130を備え、その光サーキュレータは  
1つのポートにおいて直列に相互接続された2つ以上の  
ファイバブラッググレーティング (FBG) 132, 1  
34, 136, 138に光学的に結合され、他のポート  
において直列に相互接続された2つ以上の薄膜フィル  
タ要素122, 124, 126, 128を有する薄膜フィル  
タ120に光学的に結合される。



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 A) 光サーキュレータと、

B) 前記サーキュレータに光学的に結合され、直列に相互接続された複数のファイバブラッググレーティング

(FBG)と、

C) 前記サーキュレータに光学的に結合され、直列に相互接続された複数の薄膜フィルタ要素(TFFE)を有する薄膜フィルタと、

を備えた光波長分岐/挿入マルチプレクサ(WADM)。

【請求項2】 前記複数のFBGの各々は、複数のデータレートで動作するFBGを介した信号低下を最小にする有効帯域幅によって特性を与えられることを特徴とする請求項1記載の光波長分岐/挿入マルチプレクサ。

【請求項3】 前記複数のFBGの各々はさらに、前記複数のデータレートの最高速度の1つで動作する場合にFBGを介した信号低下を所定レベル以下に維持するために選択された分散特性によって特性を与えられることを特徴とする請求項2記載の光波長分岐/挿入マルチプレクサ。

【請求項4】 前記信号低下は、電力ペナルティとして決定されることを特徴とする請求項2又は3記載の光波長分岐/挿入マルチプレクサ。

【請求項5】 A) 多重波長光信号を受信しかつ分配する光サーキュレータと、

B) 直列に相互接続されるとともに前記多重波長光信号を受信する前記サーキュレータに結合され、第1のデータレート又は第2のデータレートのいずれかにおいて各々が動作する複数の光チャネルの1つを前記多重波長光信号において選択するために各々が動作し、選択された光チャネルを前記サーキュレータに反射して戻す複数のファイバブラッググレーティング(FBG)と、

C) 前記FBGによって反射された光信号を受信するとともに、反射された信号から複数の光チャネルを分岐する前記サーキュレータに結合されたデマルチプレクサと、

を備え、多重波長光信号において、各々が固有の波長をほぼ中心とする有効帯域幅をもつ複数の光チャネルを分岐する光波長分岐/挿入マルチプレクサ(WADM)。

【請求項6】 前記デマルチプレクサは、直列に相互接続された複数の薄膜フィルタ要素(TFFE)を有する薄膜フィルタであることを特徴とする請求項5記載の光波長分岐/挿入マルチプレクサ。

【請求項7】 前記複数の光チャネルの各々は、前記複数のFBGの1つと定義された順序で関係し、その関係は前記複数のFBGについて前記光サーキュレータからの光学的な距離が増加する順序で形成されることを特徴とする請求項6記載の光波長分岐/挿入マルチプレクサ。

【請求項8】 前記複数の光チャネルの各々はさらに、

前記複数の薄膜フィルタ要素の1つと定義された順序で関係し、その関係は前記複数の薄膜フィルタ要素について前記光サーキュレータからの光学的な距離が減少する順序で形成されることを特徴とする請求項7記載の光波長分岐/挿入マルチプレクサ。

【請求項9】 前記複数のFBGの各々についての有効帯域幅は、前記第1のデータレート及び前記第2のデータレートの両方で動作するFBGを介した信号低下を最小にするように選択されることを特徴とする請求項5記載の光波長分岐/挿入マルチプレクサ。

【請求項10】 前記信号低下は、電力ペナルティとして決定されることを特徴とする請求項9記載の光波長分岐/挿入マルチプレクサ。

【請求項11】 前記第1のデータレートは2.5ギガビット/秒以下になるように選択され、前記第2のデータレートは10ギガビット/秒になるように選択されることを特徴とする請求項5記載の光波長分岐/挿入マルチプレクサ。

【請求項12】 前記第1のデータレートで動作するチャネルは約50GHzの間隔で離され、前記第2のデータレートで動作するチャネルは約100GHzの間隔で離されていることを特徴とする請求項11記載の光波長分岐/挿入マルチプレクサ。

【請求項13】 フィルタ処理される前記複数のチャネルのうち連続するチャネルに係る固有の波長間の間隔は、約200GHzになるように選択されることを特徴とする請求項11記載の光波長分岐/挿入マルチプレクサ。

【請求項14】 前記複数のFBGの各々の帯域幅は、前記固有の波長における電力レベルから10dB以下まで変化する電力レベルにおいて約0.45ナノメートルになるように選択されることを特徴とする請求項9記載の光波長分岐/挿入マルチプレクサ。

【請求項15】 前記複数のFBGの各々について選択された帯域幅を介した分散特性はさらに、前記複数のデータレートのうち最高速度の1つで動作する場合に各FBGを介した信号低下を所定レベル以下に維持するように選択されることを特徴とする請求項9記載の光波長分岐/挿入マルチプレクサ。

【請求項16】 前記信号低下は、電力ペナルティとして決定されることを特徴とする請求項15記載の光波長分岐/挿入マルチプレクサ。

【請求項17】 前記複数のFBGの各々の前記帯域幅は前記固有の波長における電力レベルから10dB以下まで変化する電力レベルにおいて約0.45ナノメートルになるように選択され、

前記複数のFBGの各々に対する分散特性は、前記固有の波長の上下0.1ナノメートル以下の波長において所定の基準値から約150ピコ秒/ナノメートルまで変動する分散値によって定義され、その変動は前記固有の波長か

ら0.1ナノメートル以上の波長において約20,000ピコ秒/平方ナノメートル以下において増加するものであることを特徴とする請求項15記載の光波長分岐/挿入マルチプレクサ。

【請求項18】 4つのFBGが直列に前記サーキュレータに相互接続され、4つの薄膜フィルタ要素が前記薄膜フィルタ内に含まれるとともに前記サーキュレータに相互接続されていることを特徴とする請求項4記載の光波長分岐/挿入マルチプレクサ。

【請求項19】 A) 多重波長光信号を受信しかつ分配する光サーキュレータと、

B) 挿入された複数の光チャネルを受信し、当該複数の挿入光チャネルを合成し、当該合成された挿入光チャネルを分配するマルチプレクサと、

C) 直列に相互接続されるとともに前記挿入光チャネルと一緒にされた前記多重波長光信号を受信する前記サーキュレータに結合され、第1のデータレート又は第2のデータレートのいずれかにおいて各々が動作する複数の光チャネルの1つを前記多重波長光信号において選択するために各々が動作し、選択された光チャネルを前記サーキュレータに反射して戻す複数のファイバブラッググレーティング (FBG) と、

を備え、多重波長光信号において、各々が固有の波長をほぼ中心とする有効帯域幅をもつ複数の光チャネルを挿入する光波長分岐/挿入マルチプレクサ (WADM)。

【請求項20】 前記マルチプレクサは、直列に相互接続された複数の薄膜フィルタ要素 (TFE) を有する薄膜フィルタであることを特徴とする請求項19記載の光波長分岐/挿入マルチプレクサ。

【請求項21】 前記複数の光チャネルの各々は、前記複数のFBGの1つと定義された順序で関係し、その関係は前記複数のFBGについて前記光サーキュレータからの光学的な距離が増加する順序で形成されることを特徴とする請求項20記載の光波長分岐/挿入マルチプレクサ。

【請求項22】 前記複数の光チャネルの各々はさらに、前記複数の薄膜フィルタ要素の1つと定義された順序で関係し、その関係は前記複数の薄膜フィルタ要素について前記光サーキュレータからの光学的な距離が減少する順序で形成されることを特徴とする請求項21記載の光波長分岐/挿入マルチプレクサ。

【請求項23】 前記複数のFBGの各々についての有効帯域幅は、前記第1のデータレート及び前記第2のデータレートの両方で動作するFBGを介した信号低下を最小にするように選択されることを特徴とする請求項19記載の光波長分岐/挿入マルチプレクサ。

【請求項24】 前記信号低下は、電力ペナルティとして決定されることを特徴とする請求項23記載の光波長分岐/挿入マルチプレクサ。

【請求項25】 前記第1のデータレートは2.5ギガ

ビット/秒以下になるように選択され、前記第2のデータレートは10ギガビット/秒になるように選択されることを特徴とする請求項19記載の光波長分岐/挿入マルチプレクサ。

【請求項26】 前記第1のデータレートで動作するチャネルは約50GHzの間隔で離され、前記第2のデータレートで動作するチャネルは約100GHzの間隔で離されていることを特徴とする請求項25記載の光波長分岐/挿入マルチプレクサ。

【請求項27】 フィルタ処理される前記複数のチャネルのうち連続するチャネルに係る固有の波長間の間隔は、約200GHzになるように選択されることを特徴とする請求項25記載の光波長分岐/挿入マルチプレクサ。

【請求項28】 前記複数のFBGの各々の帯域幅は、前記固有の波長における電力レベルから10dB以下まで変化する電力レベルにおいて約0.45ナノメートルになるように選択されることを特徴とする請求項23記載の光波長分岐/挿入マルチプレクサ。

【請求項29】 前記複数のFBGの各々について選択された帯域幅を介した分散特性は、前記複数のデータレートのうち最高速度の1つで動作する場合に各FBGを介した信号低下を所定レベル以下に維持するように選択されることを特徴とする請求項23記載の光波長分岐/挿入マルチプレクサ。

【請求項30】 前記信号低下は、電力ペナルティとして決定されることを特徴とする請求項29記載の光波長分岐/挿入マルチプレクサ。

【請求項31】 前記複数のFBGの各々の前記帯域幅は前記固有の波長における電力レベルから10dB以下まで変化する電力レベルにおいて約0.45ナノメートルになるように選択され、

前記分散特性は、前記固有の波長の上下0.1ナノメートル以下の波長において所定の基準値から約150ピコ秒/ナノメートルまで変動する分散値によって定義され、その変動は前記固有の波長から0.1ナノメートル以上の波長において約20,000ピコ秒/平方ナノメートル以下において増加するものであることを特徴とする請求項29記載の光波長分岐/挿入マルチプレクサ。

【請求項32】 4つのFBGが直列に前記サーキュレータに相互接続され、4つの薄膜フィルタ要素が前記薄膜フィルタ内に含まれるとともに前記サーキュレータに相互接続されていることを特徴とする請求項19記載の光波長分岐/挿入マルチプレクサ。

【請求項33】 A) 複数のデータレートの各々で動作する場合に信号低下を最小にするように選択された有効帯域幅と、

B) 前記複数のデータレートのうち最高速度の1つで動作する場合に前記信号低下を所定レベル以下に維持するように選択された前記有効帯域幅を通過する分散特性

と、  
を有し、前記複数のデータレートにおいて動作可能なWDMチャネルからの信号を選択するために応答する光波長分岐/挿入マルチプレクサに使用されるフィルタ要素。

【請求項34】 前記信号低下は、電力ペナルティとして決定されることを特徴とする請求項33記載の光波長分岐/挿入マルチプレクサに使用されるフィルタ要素。

【請求項35】 前記フィルタ要素はFBGであることを特徴とする請求項33記載の光波長分岐/挿入マルチプレクサに使用されるフィルタ要素。

【請求項36】 前記有効帯域幅は、前記固有の波長における電力レベルから10dB以下まで変化する電力レベルにおいて約0.45ナノメートルになるように選択されることを特徴とする請求項34記載の光波長分岐/挿入マルチプレクサに使用されるフィルタ要素。

【請求項37】 前記FBGは、前記固有の波長の上下0.1ナノメートル以下の波長において所定の基準値から約150ピコ秒/ナノメートルまで変動する分散値を有し、その変動は前記固有の波長から0.1ナノメートル以上の波長において約20,000ピコ秒/平方ナノメートル以下において増加することを特徴とする請求項35記載の光波長分岐/挿入マルチプレクサに使用されるフィルタ要素。

【請求項38】 前記複数のデータレートのうち前記最高速度は約10ギガビット/秒であり、前記複数のデータレートのうち他の速度は2.5ギガビット/秒以下であることを特徴とする請求項33記載の光波長分岐/挿入マルチプレクサに使用されるフィルタ要素。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、光波長分岐/挿入マルチプレクサ及びそれに使用するフィルタ要素に関し、特に、複数のデータ送信レートの1つにおいて各々操作が可能な光チャネルからのデジタル光信号を分岐/挿入することが操作できる光波長分岐/挿入マルチプレクサ及びそれに使用するフィルタ要素に関する。

【0002】

【従来の技術】広帯域通信ネットワークは、音声、データ及びマルチメディア情報の増加する量を伝送できるように形成されてきている。これらの増加する量の需要を実現するために、このようなネットワークは光通信システム技術を用いて改良されてきている。例えば、光波長分割多重(WDM)技術は、単一の光ファイバで異なる波長を転送する数ダースの通信チャネルをサポートするために使用できる。

【0003】WDM光ネットワークにおいて、波長分岐/挿入マルチプレクサ(WADM)は、これらのネットワークを通過する中間点におけるWDMチャネルを選択的にするために使用されてきた(例えば、C. R. and

y. Giles等の「光波通信ネットワークにおける波長分岐/挿入マルチプレクサ」ベル研技報、207～229ページ、1999年、1月～3月を参照)。

【0004】例えば、WADMは光マルチプレクサ/光デマルチプレクサの対を用いて構成され、最初はマルチチャネルWDM光信号を個々の光路上の個々のWDMチャネルに分岐し、次に個々の光路上の信号を単一のマルチチャネルWDM光信号に再多重する。単一のチャネルWDM信号は、信号が再多重される前に、個々の光路の選択された数から分岐されるか、又は個々の光路の選択された数に挿入される。

【0005】あるいは、WDM信号におけるチャネルの各々を分岐すること及び再多重することを避けるために、様々な光フィルタ技術がWADMシステムにおいて用いられ、マルチチャネルWDM光信号において選択されたチャネルから分岐されるか、又は選択されたチャネルに挿入される。このようなフィルタ技術は、例えば、ファイバブラッググレーティング(FBG)、薄膜フィルタ及び導波グレーティングアレイを用いる。WADMにおけるこのようなフィルタ技術の使用が望ましいのは、WDM信号における多くのチャネルのわずかなものが分岐されるか又は挿入されるときである。

【0006】光フィルタの特性は関連するWDM信号の特性に大きく左右される。例えば、10ギガビット/秒で動作する同期光ネットワーク(SONET)のOC-192チャネルは、少なくとも48GHzの有効帯域幅をもつフィルタを必要とし、一方、2.5ギガビット/秒で動作するSONETのOC-48チャネルは、10GHzの有効帯域幅をもつフィルタを必要とする。

【0007】さらに、OC-192チャネルは100GHzの間隔で選択されたチャネルをもつフィルタを必要とし、一方、OC-48チャネルは50GHzの間隔で選択されたチャネルをもつフィルタを必要とする。その結果、1つのWDMデータ送信レートにおいて使用可能なWADMフィルタは、一般的に他のデータレートでは使用できない。

【0008】現在のWDMシステムの中には、個々のチャネルが他のデータレートにおいて動作できるようにした高い融通性をもつものがある。例えば、100GHz間隔のOC-192チャネルは、50GHz間隔の2つのOC-48チャネルによって置き換えられる。この高い融通性はWDMシステムにおける能力の最大限の利用を可能にする。

【0009】

【発明が解決しようとする課題】今までのところ、このような融通性のあるシステムは各データレートにおける信号をフィルタ処理する専用のWADMフィルタが使用されてきた。この方法は、コストが高くなる上、与えられるWADM信号に対するチャネルの選択における本来の融通性を低下させる。

## 【0010】

【課題を解決するための手段】第1のデータレート又は第2のデータレートのいずれか1つにおいて、各々動作する複数のチャンネルを分岐又は挿入するように形成された光波長分岐／挿入マルチプレクサ(WADM)は、融通性が高い上コストが低い。WADMは光サーキュレータからなり、その光サーキュレータは1つのポートにおいて直列に相互接続された複数のFBGに光学的に結合され、他のポートにおいて直列に相互接続された複数の薄膜フィルタ要素(TFFE)に光学的に結合される。

【0011】FBG及びTFFEの各々は、2以上のWDMチャンネルの1つからの信号をフィルタ処理するために有効な帯域幅をもっている。FBGに対する帯域幅及び分光特性は、第1及び第2のデータレートの両方についての動作において、予測されたフィルタ性能のペナルティを最小にするように選択される。

【0012】FBG及びTFFEは挿入損失をフィルタ処理された信号に与える。本発明によれば、FBG及びTFFEは、挿入されたチャンネル又は分岐されたチャンネルの各々に関連する挿入損失を等しくするように形成される。すなわち、FBGは、サーキュレータからの光学的な距離が増加する順序で光チャンネルが割り当てられ、TFFEはサーキュレータからの光学的な距離が減少する順序で光チャンネルが割り当てられるように形成される。

【0013】2.5gb/s(ギガビット/秒)以下の第1のデータレート、及び10gb/sの第2のデータレートをサポートする本発明の好ましい実施形態では、WADMは4つのFBG及び4つの薄膜フィルタを有する。200GHzの有効な帯域幅をもつ従来の薄膜フィルタ要素を用いるために、隣接する対のFBGの各々及び隣接する対の薄膜フィルタの各々は、200GHzの間隔の特性波長をもつように選択される。

【0014】FBGの帯域幅及び分散特性は、第1及び第2のデータレートの両方で動作できるように選択される。特に、各FBGは0.45nm(ナノメートル)について有効な帯域幅(すなわち、10dB以下の帯域幅を介した電力差によって反射される帯域幅)をもつように選択される。各FBGはさらに、特性波長の上下0.1nm以下の波長において、所定の基準値から約150ps(ピコ秒)/nm(ナノメートル)以下に変動する分散値とともに選択され、かつ、その特性波長から0.1nmを超える波長において、約20,000ps(ピコ秒)/nm<sup>2</sup>(平方ナノメートル)以下のレートにおける150ps/nmより上に増加する変動とともに選択される。

## 【0015】

【発明の実施の形態】図1は本発明の原理を表すものであり、多重チャンネルWDM信号における最大4チャンネルに関連する光信号を分岐するために形成された波長分岐

／挿入マルチプレクサ(WADM)100を示している。WDM信号はWADM100の光サーキュレータ130に入力102を介して入力する。

【0016】光サーキュレータ130は、入力102において受信した光信号をリンク116に転送し、かつ受信した光信号をリンク116を介してリンク114に転送するように機能する。光サーキュレータ130は非対称のサーキュレータであり、受信した光信号をリンク114を介して入力102に転送するようには機能しない。このような非対称のサーキュレータはよく知られた技術であり、例えば、JDS Uniphase及びその他のメーカーから市販品として入手できる。

【0017】図1の光サーキュレータ130は、入力102からのWDM信号をリンク116を介してファイバブラッググレーティング(FBG)132、134、136及び138に転送する。FBG132、134、136及び138は、それぞれ波長 $\lambda_1$ 、 $\lambda_3$ 、 $\lambda_5$ 及び $\lambda_7$ に対してほぼ中心となるチャンネルによって搬送される光信号に応答する。

【0018】FBG132、134、136及び138は、例えば、JDS Uniphase、Cornin、住友電気工業から入手できるタイプのものである。本発明における適用を最適にするために、帯域幅及び分散特性を示すFBG132、134、136及び138についてはさらに後述する。

【0019】リンク116上で受信したWDM信号について、FBG132は、波長 $\lambda_1$ をほぼ中心とするチャンネルによって搬送された多重波長WDM信号の1つの成分を反射するように動作し、他のWDM信号成分をリンク115を介してFBG134に渡すように動作する。同様に、FBG134は、波長 $\lambda_3$ をほぼ中心とするチャンネルによって搬送された多重波長WDM信号の1つの成分を反射するように動作し、他のWDM信号成分をリンク117を介してFBG136に渡すように動作する。

【0020】FBG136は、波長 $\lambda_5$ をほぼ中心とするチャンネルによって搬送された多重波長WDM信号の1つの成分を反射するように動作し、他のWDM信号成分をリンク119を介してFBG138に渡すように動作する。FBG138は、波長 $\lambda_7$ をほぼ中心とするチャンネルによって搬送された多重波長WDM信号の1つの成分を反射するように動作し、他のWDM信号成分を出力104に渡すように動作する。

【0021】FBG132、134、136及び138の動作の結果、波長 $\lambda_1$ 、 $\lambda_3$ 、 $\lambda_5$ 、及び $\lambda_7$ をほぼ中心とするチャンネルによって搬送された入力WDM信号の信号成分は、リンク104に達するWDM信号から取り除かれる。これら取り除かれた信号成分はFBG132、134、136及び138によって反射されてサーキュレータ130に戻され、サーキュレータ130はそ

の反射信号を薄膜フィルタ120に向ける。他のWDM信号成分はFBG132、134、136及び138によって反射されず、WADM100を通過して出力104を介して送信される。

【0022】薄膜フィルタ120は、薄膜フィルタ要素(TFFE)122、124、126、及び128を有する。TFFEは市販品として、例えば、JDS Uniphase, Corning, 及びDiCon Fiberoptics Incから入手できる。他の光信号逆多重化デバイス(例えば、スター型結合器)も薄膜フィルタ120の代わりに本発明において使用することができる。薄膜フィルタ120に関連する低コスト及び挿入損失特性は、逆多重化デバイスを特に適切に選択すべきであることを示している。

【0023】TFFE122、124、126、及び128は、それぞれ波長 $\lambda_1$ 、 $\lambda_3$ 、 $\lambda_5$ 、及び $\lambda_7$ をほぼ中心とするチャンネルによって搬送された光信号に応答する。例えば、TFFE128は波長 $\lambda_1$ 、 $\lambda_3$ 、 $\lambda_5$ 、及び $\lambda_7$ をほぼ中心とするチャンネルにおける取り除かれた信号成分をリンク121を介して受信すると、 $\lambda_7$ に関連する成分を出力106を介して送信し、残りの信号成分をリンク123を介してTFFE126に反射するように動作する。

【0024】同様に、TFFE126は $\lambda_5$ に関連する成分を出力110を介して送信し、残りの信号成分をリンク125を介してTFFE124に反射するように動作する。TFFE124は $\lambda_3$ に関連する成分を出力108を介して送信し、波長 $\lambda_1$ に関連する最終的な残りの信号成分をリンク127を介してTFFE122に反射するように動作する。TFFE122はこの波長 $\lambda_1$ に関連する最終的な信号成分を出力112を介して送信する。したがって、波長 $\lambda_1$ 、 $\lambda_3$ 、 $\lambda_5$ 、及び $\lambda_7$ に関連するチャンネルにおけるWDM信号成分は、出力112、108、110及び106においてWDM入力信号から分岐される。

【0025】さらに、波長 $\lambda_1$ 、 $\lambda_3$ 、 $\lambda_5$ 、及び $\lambda_7$ に関連するチャンネルにおける反射信号について、FBG132、134、136及び138は、隣接するチャンネルに関連する信号成分も各々反射する。例えば、信号のドリフト及びジッタは、通常の場合に隣接チャンネルのエッジにおける波長の信号成分を反射されたチャンネルのエッジにおける信号と重複させる。これらの重複した信号成分は隣接チャンネルクロストークを持ち込み、そのクロストークは反射された信号を低減する。

【0026】図1の実施形態において、隣接チャンネルクロストークは、次の段階におけるTFFE122、124、126、及び128によるフィルタ処理の実行の結果低減される。図6は、図1の実施形態の結果を表す代表的なFBG反射特性632及び代表的なTFFE送信特性636を示している。特性632及び636はそれ

ぞれFBG及びTFFEに関連し、それらの各々は1533.6nmの固有の波長642をもつ信号にフィルタ処理される。この例は、様々な固有の波長をもつ他のWDM信号にも容易に適用することができる。

【0027】特性634は、信号のドリフト又はジッタの結果としてシフトしたFBG特性634を示している。このドリフト又はジッタは、例えば、チャンネルエッジ648において約10dBの隣接チャンネルクロストークの増加(固有の波長642から50GHz)を生じる。チャンネルエッジ648を超えた場合には、TFFE特性636は送信損失の増加を呈する。

【0028】例えば、固有の波長642から約1.4nm(又は、固有の波長642から約100GHz)に広がる波長647及び646以上においては、TFFE特性636に-10dBのレベル減衰が見られる。このように、チャンネルエッジ648以上においては、TFFEが示す特性636によって送信される隣接チャンネルクロストークは減衰されることになる。

【0029】WADMによって分岐され、挿入され、又はWADMを通過するWDM信号はまた、挿入損失をこうむりやすい。例えば、FBG132、134、136及び138の1つによりWDM信号が反射又は送信されることで、約0.2dBの挿入損失を受ける。薄膜フィルタ要素122、124、126、及び128の1つによりWDM信号が送信されることで、約1.5dBの挿入損失を受ける。薄膜フィルタ要素122、124、126、及び128の1つによりWDM信号が反射されることで、約0.7dBの挿入損失を受ける。さらに、サーキュレータ130により各ポートごとに約0.6dBの信号損失を受ける。

【0030】図1のWADM100は、分岐されるWDM信号の各々に作用するフィルタ要素の数を同じにすることによって、分岐されるWDM信号の各々による挿入損失を最小にするように配置される。与えられる固有の波長 $\lambda_1$ 、 $\lambda_3$ 、 $\lambda_5$ 、及び $\lambda_7$ において、一連のTFFE128、126、124及び122からなるTFFEの位置、並びに、一連のFBG132、134、136及び138からなるFBGの位置の関係は、サーキュレータ130に対して逆になる。

【0031】例えば、波長 $\lambda_1$ に関連する信号は、FBG132によって反射され、TFFE122によって送信される。その結果、波長 $\lambda_1$ に関連する分岐される信号は、サーキュレータ130と出力112との間において、5つの要素(FBG132並びに薄膜要素128、126、124及び122)の影響を受ける。図1のWADM100により分岐されるWDM信号の各々における影響される要素数及び挿入損失の概算値を次の表に示す。

【表1】



固有の波長	FBGの反射信号又は送信信号	TFFEの反射信号又は送信信号	影響要素の総数	挿入損失の概算値
$\lambda 1$	132	128, 126, 124, 122	5	5.6dB
$\lambda 3$	132, 134, 132	128, 126, 124	6	5.3dB
$\lambda 5$	132, 134, 136, 134, 132	128, 126	7	5.0dB
$\lambda 7$	132, 134, 136, 138, 136, 134, 132	128	8	4.7dB

【0032】図1の実施形態において、FBG132, 134, 136及び138並びにTFFE128, 126, 124及び122は、波長 $\lambda 1$ ,  $\lambda 3$ ,  $\lambda 5$ , 及び $\lambda 7$ をほぼ中心とするチャンネルをフィルタ処理するように選択される。波長 $\lambda 1$ ,  $\lambda 3$ ,  $\lambda 5$ , 及び $\lambda 7$ は、200GHzの波長間隔をもって選択される。図6に示すように、この波長間隔は薄膜フィルタの送信特性636は約1.6nm又は200GHzの有効な-10dB帯域幅(波長646及び647によって制限される帯域幅)をもっている。200GHzのフィルタ間隔もまた、コヒーレントクロストークの影響を最小にするのに役立つ。

【0033】コヒーレントクロストークは、ある信号の複数のコピーが1つの信号に合成される場合に発生する。図1のWADM100において、例えば、波長 $\lambda 5$ を中心とする信号成分は、FBG132及び134によって反射された後に、残りの信号がFBG136によって完全に反射される。

【0034】FBG132及び134は信号路においてFBG136より前にあるので、FBG132によって反射されるどの信号成分もFBG134によって反射される信号成分よりも進んだ位相をもつことになる。また、FBG134によって反射されるどの信号成分もFBG136によって反射される信号成分よりも進んだ位相をもつことになる。3つの成分はフィルタ120に到達する前に再合成するので、異なる位相の信号成分で再合成された信号はコヒーレントクロストークを呈する。

【0035】200GHzを隔てて固有の波長をもつ隣接FBGであるFBG132, 134, 136及び138の間隔によって、FBG132, 134, 136及び138の1つに関連する極めてわずかな信号が隣接するFBGによって反射される。図5に示すように、固有の波長から50GHz(例えば、固有の波長513から波長515の距離)だけ離れたFBGによって反射される信号は、-40dB近くまで電力が減衰される。

【0036】図1のWADM100におけるFBG132, 134, 136及び138は200GHzの間隔で固有の周波数をもっているにもかかわらず、50GHz又は100GHzの間隔で固有の周波数をもっているWDM信号は、適切に選択された固有の波長において複数のWADMフィルタを順序よく合成することによって効果的にフィルタ処理される。図8にそのような合成の効

果を示す。

【0037】図8において、WDM信号802は50GHz間隔の固有の波長をもち、WDM信号804は100GHz間隔の固有の波長をもっている。例えば、50GHz間隔をもつスペクトル803上のWDM信号802は、 $\lambda 1$ から $\lambda 16$ までの波長を中心とする16チャンネルを発生する。一方、100GHz間隔をもつスペクトル813上のWDM信号804は、 $\lambda 2$ ,  $\lambda 4$ ,  $\lambda 6$ ,  $\lambda 8$ ,  $\lambda 10$ ,  $\lambda 12$ ,  $\lambda 14$ 及び $\lambda 16$ の波長を中心とする8チャンネルを発生する。

【0038】WADM806, 808, 810及び812は、スペクトル803及び813に関連するWDMチャンネルからの信号をフィルタ処理するために用いられる。WADM806, 808, 810及び812の各々は、200GHzの固有の波長間隔をもつWDMチャンネルに関連するフィルタを組み込む。例えば、WADM806は、固有の波長 $\lambda 2$ ,  $\lambda 6$ ,  $\lambda 10$ 及び $\lambda 14$ に関連するチャンネルスペクトル807にตอบสนองするフィルタを組み込む。

【0039】まとめて言えば、WADM806は808, 810及び812は、それぞれのチャンネルスペクトル807, 811, 805及び809にตอบสนองするフィルタを組み込む。これらのチャンネルスペクトルは、波長 $\lambda 2$ ,  $\lambda 4$ ,  $\lambda 6$ ,  $\lambda 8$ ,  $\lambda 10$ ,  $\lambda 12$ ,  $\lambda 14$ 及び $\lambda 16$ を中心とするチャンネルスペクトル813、並びに波長 $\lambda 1$ から $\lambda 16$ までを中心とするチャンネルスペクトル803をとともに含んでいる。

【0040】図8に示すように、チャンネルスペクトル803及び813は、WDM信号802及び804における低い周波数チャンネルを含むように選択される。クラッドモード共振は固有の波長に関連する下側の波長においてFBG反射率を生成する(Roman Kashya 著「Fiber Bragg Gratings」; Academic Press, 1999, 159ページを参照)ので、このような最も低いチャンネルの選択はクラッドモード共振の累積を低減するのに役立つ。

【0041】図1の実施形態に関する本発明の第2の実施形態において、図2はWDM信号における最大4チャンネルに関連する光信号を挿入するために形成されたWADM200を示している。波長 $\lambda 1$ ,  $\lambda 3$ ,  $\lambda 5$ , 及び $\lambda 7$ をほぼ中心とするチャンネルに関するWDM信号は、入力212, 208, 210及び206においてそれぞ

れ挿入される。TFFE222, 224, 226及び228は、それぞれ入力212, 208, 210及び206に接続されて、波長 $\lambda 1$ ,  $\lambda 3$ ,  $\lambda 5$ , 及び $\lambda 7$ に関連する各自の信号を送信する。TFFE222, 224, 226及び228は、それぞれの波長 $\lambda 1$ ,  $\lambda 3$ ,  $\lambda 5$ , 及び $\lambda 7$ に関連しないWDM信号を反射するように作用する。

【0042】したがって、波長 $\lambda 1$ に関連するWDM信号は、リンク227を介してTFFE222によって送信され、それぞれリンク225, 223及び221を介してTFFE224, 226及び228によって反射され、リンク214を介して光リサークキュレータ230に達する。同様に、波長 $\lambda 3$ に関連するWDM信号は、リンク225を介してTFFE224によって送信され、それぞれリンク223及び221を介してTFFE226及び228によって反射され、リンク214を介して光リサークキュレータ230に達する。

【0043】さらに、波長 $\lambda 5$ 及び $\lambda 7$ に関連するWDM信号は、TFFE226及び228によってそれぞれ送信される。この場合において、TFFE226によって送信されるWDM信号はさらにTFFE228によって反射され、波長 $\lambda 5$ 及び $\lambda 7$ に関連するWDM信号は、両方ともにリンク221及び214上を進んで光リサークキュレータ230に達する。

【0044】光リサークキュレータ230は、すでに述べた図1の光リサークキュレータ230と同じタイプの非対称サークキュレータである。非対称サークキュレータであるので、光リサークキュレータ230は出力204で受信するいかなる光信号もリンク214に転送するようには作用しない。

【0045】TFFE222, 224, 226及び228によって反射されて光リサークキュレータ230に送られた信号は、次にリンク216を介してFBG232に送られる。FBG232, 234, 236及び238は、それぞれ波長 $\lambda 1$ ,  $\lambda 3$ ,  $\lambda 5$ , 及び $\lambda 7$ をほぼ中心とするチャンネルに関連する信号を反射するように形成されている。

【0046】波長 $\lambda 1$ に関連する信号は、リサークキュレータ230に達するとリンク216を介してFBG232に送信され、そこでFBG232によって反射されてリンク216に戻され、リサークキュレータ230を通過して出力204に送られる。同様に、波長 $\lambda 3$ に関連する信号

は、リンク216及び215を介しFBG232を通過してFBG234に送信され、そこでFBG234によって反射されてリンク215及び216に戻され、FBG232及びリサークキュレータ230を通過して出力204に送信される。

【0047】波長 $\lambda 5$ 及び $\lambda 7$ に関連する信号は、それぞれFBG236及び238によって反射される。波長 $\lambda 7$ に関連する信号はFBG236を通過してリンク219を介してFBG238によって反射される。波長 $\lambda 5$ 及び $\lambda 7$ に関連する信号は、さらにリンク217を介してFBG234を通り、リンク215を介してFBG232を通り、リンク216を介してリサークキュレータ230を通過して出力204に送信される。

【0048】WDM信号は入力202においてWADM200に入力される。波長 $\lambda 1$ ,  $\lambda 3$ ,  $\lambda 5$ , 及び $\lambda 7$ に関連する信号はWDM入力信号に挿入されるように作用されるので、入力202におけるWDM信号はこれらの波長を中心とするチャンネルにおける信号成分を本来的に含んでいない。その結果、WDM入力信号は、本質的に変わらないリンク219, 217, 215及び216を介してFBG238, 236, 234及び232を通り、さらにリサークキュレータ230を通過して出力204に至る。

【0049】しかしながら、波長 $\lambda 1$ ,  $\lambda 3$ ,  $\lambda 5$ , 及び $\lambda 7$ に関連するチャンネルの信号が入力202におけるWDM信号に存在する場合には、これらの信号はFBG232, 234, 236及び238によってそれぞれ本質的に反射されて入力202に戻り、これにより起点となる入力202においてWDM信号から除去される。このように2つの場合において、波長 $\lambda 1$ ,  $\lambda 3$ ,  $\lambda 5$ , 及び $\lambda 7$ に関連するチャンネルの信号は、薄膜フィルタ220を介して出力204におけるWDM信号に効果的に挿入される。

【0050】図1のWADM100と同様に、図2のWADM200は、挿入される信号の各々に作用するフィルタ要素の数を同じにすることによって、挿入される信号に対する挿入損失を最小にするように配置される。図2のWADM200により挿入されるWDM信号の各々における影響される要素数及び挿入損失の概算値を次の表に示す。

【表2】

固有の波長	TFFEの反射信号又は送信信号	FBGの反射信号又は送信信号	影響要素の総数	挿入損失の概算値
$\lambda 1$	222, 224, 226, 228	232	5	5.8dB
$\lambda 3$	224, 226, 228	232, 234, 232	6	5.3dB
$\lambda 5$	226, 228	232, 234, 236, 234, 232	7	5.0dB
$\lambda 7$	228	232, 234, 236, 236, 236, 234, 232	8	4.7dB

【0051】比較の方法によれば、チャネルを通る信号（すなわち、信号の流れに対して分岐も挿入もされない信号）は、約2.0dBの挿入損失を累積するサーキュレータ230の2つのポートと同様に、例えば4個のFBG238, 236, 234及び232を通して送信される。

【0052】図1及び図2の実施形態において、FBG及び関連するTFEの数を増加することも又は減少することも可能である。さらに、図1及び図2の実施形態のWADMと一緒にして使用することも可能である。例えば、WADMネットワークへの信号の挿入とWADMネットワークからの信号の分岐との合成も可能である。

【0053】図3は配置の一例である合成WADM300を示している。合成WADM300は、入力306A, 308A, 310A, 及び312AにおいてWDM信号を挿入するためのWADM301、並びに、出力306D, 308D, 310D, 及び312DにおいてWDM信号を分岐するためのWADM303を備えている。WADM300はまた、WADM301と303との間に挿入された光増幅器(OA)305を備えている。

【0054】これらのWADMは、一般的にかなりの長さ（例えば、数10キロメートル）の距離をファイバ媒体で相互接続されているので、WADM300に到達したWADM300を通して伝送するWDM信号は、処理に先だって増幅する必要がある。OA305は、前の期間から受信しWADM300を通して次の光ファイバの期間に伝送する通過信号、WADM301によって挿入されて次の期間に伝送する信号、及び前の期間から受信しWADM303によって分岐される信号を増幅するために用いられる。

【0055】必要とするOAの数を最小にする（これによりコストが低減する）ために、単一のOA305がWADM301と303との間に挿入される。この場合の構成において、通過信号、挿入される信号、及び分岐される信号は、移動における最適な点で各々増幅されることが望ましい。

【0056】しかしながら、WDM信号が挿入されるWADM301は、WDM信号が分岐されるWADM303よりも上流にあるので、挿入される信号に関連するWDMチャネルは、一般的に、分岐される信号に関連するチャネルから分離しなければならない。さもなければ、WADM301によって挿入されたチャネルが、WADM303によってすぐに分岐されてしまう。

【0057】実際においては、この制約は、出力304より下流に追加WADM・SU300を挿入することによって克服することができる。下流のWADM・SU300は、WDM信号を分岐する上流のWADM303の後にWDM信号を挿入するので、下流のWADM・SU300は、上流の分岐WADM303によって分岐され

た信号に関連するチャネルの信号を挿入することになる。

【0058】図4は、図3のWADM・SU300を用いるWADMネットワーク400を示している。WADMネットワーク400はWDMターミナル402及び404によって終端される。光信号はターミナル402の光マルチプレクサ401によって多重化されて、ファイバ光リンク413を介してターミナル404に転送されるWDM信号に整形される。

【0059】ターミナル404において、光デマルチプレクサ403はリンク413を介して受信したそのWDM信号を逆多重化して、ターミナル402において多重化された光信号を再生する。さらにターミナル404もまた、光信号を多重化して光リンク415を介してターミナル402の光マルチプレクサ403に転送するWDM信号を整形するための光マルチプレクサ401を備えている。この方法により、光信号は分離したファイバ光リンク413及び415を介して2つの方向に送られる。

【0060】光ターミナル402はまた、光増幅器405及び407を組み込んで、ターミナル402の光マルチプレクサ401によって送信されるWDM信号を増幅し、ターミナル402の光デマルチプレクサ403によって受信されるWDM信号を増幅する。ターミナル404の光増幅器405及び407は、それぞれターミナル404の光マルチプレクサ401及びターミナル404のデマルチプレクサ403と同じ機能を遂行する。

【0061】光リンク413及び415は各々数10キロメートルに及び、光リンク413及び415上で相当の信号損失が発生する。このため、光リンク413及び415に沿って、複数の光リピータ408が指定スパン長（例えば、約80キロメートル）ごとに配置されて、WDM信号を再生する。光リピータ408は光増幅器406を備えており、ターミナル402及び404の光増幅器405及び407と類似した動作をする。

【0062】複数のWADMターミナル410もまた光リンク413及び415に沿って配置され、特定のWDMチャネルからWDM信号を選択的に挿入又は分岐する。WADMターミナル410は光リンク413及び415の各々についてWADM412を備えている。光リピータ408における光信号の再生にも関わらず、信号対ノイズの低下はWADMターミナル410とともに使用できるスパンの絶対数を制限する。

【0063】経験から言えることは、WADMターミナル410がWADMネットワーク400において使用できるのは、OC192データレートが6又はそれより小さいスパンを光リンク413及び415に沿って有する場合である。より長いスパンについては、光信号を電気信号に変換するハードウェアが必要である。その電気信号はこの後の送信において光フォームに再変換される。

【0064】長距離の光ファイバ上を高いデータレートで送信する場合には、光ファイバ送信に固有の信号分散の影響を軽減するために分散補償技術を用いる必要がある。例えば、少なくとも60キロメートルのネットワークスパンを介してOC192の送信をする場合には、信号は95パーセントのスパン損失補償を手当されなければならない(言い換えれば、送信される信号において95パーセントの信号分散の低下が発生する)。

【0065】例えば、ネットワーク400においては、光リンク413に沿った95パーセントのスパン損失分散補償は、ターミナル402内のOA406における35パーセントの前補償、リピータ408内のOA406及びWADMターミナル412における95パーセントの補償、並びにターミナル404内のOA407における60パーセントの後補償を導入することによって実現することができる。

【0066】図3に示すように、OA305はその信号路内の分散補償ファイバ(DCF)307を組み込むことによって分散補償を実現する。DCF307は、先の及び後のネットワークスパンを介したWDM信号の送信から発生するポジティブ信号分散に対して補償するためにネガティブ信号分散を導入する。DCF307に使用されるタイプのDCFはよく知られており、かつ市販品として、例えば、JDS Uniphase及びCorningから入手できる。

【0067】チャネルは、OA305からほんのわずかな距離にあるWADM301によって挿入され、チャネルはまた、OA305からほんのわずかな距離にあるWADM303によって分岐されるので、OA305は、挿入されたチャネル及び分岐されたチャネルにおける分散に対して過剰補償をする。

【0068】この過剰補償の影響を低減するために、WADM301内の単一モードファイバ309は、薄膜フィルタ320Aとサーキュレータ330Aとの間に配置されて、挿入されたチャネルに対する信号路における追加ポジティブ分散を採り入れる。同様に、WADM303内の単一モードファイバ311は、薄膜フィルタ320Dとサーキュレータ330Dとの間に配置されて、分岐されたチャネルに対する信号路における追加ポジティブ分散を採り入れる。

【0069】このことに代わって又はこのことに加えて、WADM301内のFBG332A、334A、336A及び338A、並びに、WADM303内のFBG332D、334D、336D及び338Dは、挿入されたWDM信号並びに分岐されたWDM信号にそれぞれポジティブ分散を加算するように設計される。

【0070】例えば、単一モード光ファイバを介して伝送しているOC192信号について、図3のWADM301は約650ps(ピコ秒)/nm(ナノメートル)のポジティブ分散を組み込む必要があり、またWADM3

03は約450ps/nmのポジティブ分散を組み込む必要がある。

【0071】これらの量のうち、分散の約250ps/nmは、図1のFBG132、134、136及び138、並びに図2のFBG232、234、236及び238によって直接に生成される。望ましい分散レベルに達するために、ポジティブ分散の400ps/nmが単一モードファイバ309によって加算され、ポジティブ分散の200ps/nmが単一モードファイバ311によって加算される。

【0072】本発明の目的は、第1のデータレート若しくは第2のデータレートのいずれかにおいて、送信される光信号を搬送できる複数のWADMチャネルの挿入又は分散を可能にすることである。本発明において使用されるFBG及び関連するTFEの選択された特性は、この目的を達成するための鍵である。

【0073】例えば、図5は、図1、図2及び図3に示した実施形態において使用されたFBGにおける反射特性及び送信特性を示している。図5に表示されたFBGは、例えばOC48WDM信号をフィルタ処理するのに用いられる。OC48WDM信号は、50GHzの間隔をもつチャネルにおいて、約2.5ギガビットのレートで送信される。これは、OC192WDM信号が100GHzの間隔をもつチャネルにおいて、約10ギガビットのレートで送信されるのと同じである。

【0074】この実施形態はまた、もっと低いデータレートで送信される信号(例えば、62.2メガビットで動作するOC12、及び15.5メガビットで動作するOC3)をフィルタ処理するのに用いられる。

【0075】図5において、FBG反射特性502及び504は、図3の挿入WADM301及び分岐WADM303に関連するFBGとそれぞれ等価であることを示している。その特性は、反射帯域幅内又は反射帯域幅近傍の選択された波長において、入力信号電力と比較した反射信号の相対電力を表している。同様に、挿入WADM301及び分岐WADM303に関連するFBG送信特性506及び508は、選択された波長において入力信号電力と比較した送信信号の相対電力を表している。

【0076】図5の特性で示されるFBGによって送信されたWDM信号又は反射されたWDM信号における有効な信号帯域幅は、関連する入力信号の電力に対して反射される電力又は送信される電力が10dBに低下する波長によって区分される。したがって、図5における有効な送信帯域幅512は約0.45nmであり、有効な反射帯域幅514は約0.4nmである。

【0077】OC48信号レート及びOC192信号レートの両方で機能するために、これらの有効な帯域幅は、低めのデータレート(例えば、約0.4nm)だけでなく離れたOC48チャネルをもつ近傍のチャネルからの隣接チャネルクロストークを回避するのに十分なほ

ど狭いことが必要である。さらに、これらの有効帯域幅は、高めのデータレートをもつ信号（例えば、約0.8 nmだけわずかに離れたチャネルにおいて搬送されるOC192信号）の部分をつかえるに十分なほど広いことが必要である。

【0078】適切なFBG帯域幅は、様々な有効FBG帯域幅における両方の信号レートについての信号電力ペナルティを解析することによって選択することが可能になる。信号品質の解析において使用される電力ペナルティはよく知られた技術である（Harry J. R. Dutton著「Understanding Optical Communications」; Prentice-Hall, 1998, 403, 404ページを参照）。信号品質の通常の測定は、信号対ノイズ比及び内部シンボル干渉を含んでいる。

【0079】図7(A)及び図7(B)は、様々な有効帯域幅におけるOC48信号レート及びOC192信号レートのそれぞれに対するFBG電力ペナルティを示している。その電力ペナルティは、FBGに入力されるWDM信号内の様々な送信欠陥の存在によって影響を受ける。

【0080】これらの入力信号の欠陥は、自己位相変調／相互位相変調（SPM/XPM）ペナルティ、内部シンボル干渉に関する前置FBG電力ペナルティ測定によって特徴づけられる。SPM/XPMペナルティは、例えば、分散特性に含まれるWDMシステム特性の変化、システム構造、信号チャープ（chirp）及び信号電力によって影響を受ける。図7(A)及び図7(B)に示すように、FBG電力ペナルティはSPM/XPMペナルティとともに非直線的に変化する。

【0081】図7(A)及び図7(B)において、FBG電力ペナルティは有効帯域幅及びSPM/XPMペナルティの機能として示されている。SPM/XPMペナルティはペナルティなし（チャープなし）から2.0 dBのペナルティまでの入力信号範囲の中に存在する。

【0082】図7(A)において、OC48信号レートに対するFBG電力ペナルティの増加は、上側限界の帯域幅における隣接チャネルからのクロストークの結果、及び下側限界の信号スペクトルの損失の結果を反映する。同様に、図7(B)において、OC192信号レートに対するFBG電力ペナルティの増加は、下側限界の信号スペクトルの損失の結果を反映する。

【0083】SPM/XPMペナルティが2.0 dBの場合には、約0.38 nmの有効帯域幅は、OC48信号レート及びOC192信号レートの両方における全体的な電力ペナルティを最小にすることは明らかである。OC192信号は、与えられたWDMネットワークにおいて、OC48信号より高いSPM/XPMペナルティを累積しようとし、また、FBGは大きなドリフト及びジッタを受けるので、約0.45 nm（約54 GHz）

の有効帯域幅724が幾分大きいほど全体の性能をより向上できることが経験から言える。

【0084】OC192信号レートについては、信号分散は臨界の結果を生む。図3に示すように及び上記したように、挿入WADM301に導入された信号に対する分散、及び分岐WADM303において分岐された信号に対する分散は、様々な手段によってわずかに調整することができる。

【0085】しかしながら、反射帯域幅を介して強く変化する分散をFBGが典型的に示す場合に、わずかな条件を処理するだけでは不十分である。例えば、SPM/XPMペナルティが増加すると、エッジ波長において分散が急激に増加することが経験から言える。

【0086】このような変化の影響は適切に制限する必要がある。図9は、本発明の要求を満たすための適切な制限をもつ分散テンプレートを示している。約0.45 nmの有効帯域幅をもつFBGによって反射されたOC192信号について、テンプレートのグラフは、FBG電力ペナルティ（関連するSPM/XPMペナルティを含む）が2.0 dBより大きくないような帯域幅を介したわずかな値からの分散変動内の許容できる制限を示している。

【0087】許容できる分散制限は、制限910によって示される。制限910は、FBGの指標波長904の0.05 nm内において反射された波長に適用できる領域908を定義する。領域908内において、分散は、例えば、250 ps/nmから150 ps/nm以下の範囲で変化する。領域908を超えて反射された波長については、150 ps/nmの制限は、20,000 ps/nm<sup>2</sup>以下のレートで、領域908のエッジ907及び909から増加する。

【0088】FBG分散変化は、様々なFBGの経年変化の影響の結果として実際に増加する。制限910の境界内において性能を維持するために、ガード帯域制限912が新たに製造されるFBGのために確立される。図9に示す例において、ガード帯域制限912は、FBGの中心波長904の0.1 nm内において反射された波長に適用できる領域906を定義する。

【0089】領域906内において、分散は、わずかなFBG分散値902から150 ps/nm以下の範囲で変化する。領域906を超えて反射された波長については、150 ps/nmの制限は、20,000 ps/nm<sup>2</sup>以下のレートで、領域906のエッジ903及び905から増加する。様々な他のガード帯域制限が、FBGの経年変化の影響をもつ実例に応じて確立される。図9の分散テンプレートに従ったFBGにおける分散特性のいくつかの例を図10に示す。

【図面の簡単な説明】

【図1】 WADM信号から光チャネルを分岐する本発

明の第1の実施形態を示す図。

【図2】 WADM信号に光チャネルを挿入する本発明の第2の実施形態を示す図

【図3】 図1及び図2における第1及び第2の実施形態の両方で用いるWADMを示す図。

【図4】 WDMネットワークにおいて図3のWADMがどのように配置されるかを示す図。

【図5】 図1～図4の実施形態で用いられるファイバブラッググレーティング (FBG) における普通の反射スペクトル及び送信スペクトルを示す図。

【図6】 図1～図4の実施形態で用いられるFBG及び薄膜フィルタにおける反射スペクトルの比較を示す図。

【図7】 OC192及びOC48において本発明で用いられるFBGに対するSPM/XPMのペナルティを示す図。

【図8】 一連のOC192チャネル及びOC48チャネルを挿入又は分岐するのに多重WADMがいかに使用されるかを示す図。

【図9】 波長に対するFBG分散レベルの限界を示す図。

【図10】 図1～図4の実施形態において使用される代表的なFBGにおける分散レベルを示す図。なお、各図において同等の構成要素は下位2桁の識別番号を共有する (例えば、図1のFBG132と図2のFBG232は同じものである)。

【符号の説明】

100, 200, 300, 303 波長挿入/分岐マルチプレクサ (WADM)  
102, 202, 206, 208, 210, 212, 302, 306A, 308A, 310A, 312A 入力  
104, 106, 108, 110, 112, 204, 304, 306D, 308D, 310D, 312D 出力  
114, 115, 116, 117, 119, 121, 123, 125, 127, 215, 216, 217, 219, 221, 223, 335, 227, 351, 353, 413, 415 リンク  
130, 230, 330A, 330D 光サーキュレータ

タ

132, 134, 136, 138, 232, 234, 236, 238, 332A, 334A, 336A, 338A, 332D, 334D, 336D, 338D ファイバブラッググレーティング (FBG)

120, 220, 320A, 320D 薄膜フィルタ  
122, 124, 126, 128, 222, 224, 226, 228 薄膜フィルタ要素 (TFFE)

305, 405, 406, 407 光増幅器

307 分散補償ファイバ (DCF)

309, 311 単一モードファイバ

400 波長挿入/分岐マルチプレクサネットワーク

401 光マルチプレクサ

402, 404, 410 波長分割多重 (WDM) ターミナル

403 光デマルチプレクサ

408 光リピータ

502, 504 反射特性

506, 508 送信特性

512 有効送信帯域幅

513, 642 固有の波長

514 有効反射帯域幅

515, 646, 647 固有の波長から離れた波長

632, 634 FBG特性

636 TFFE特性

648, 903, 905, 907, 909 チャネルエッジ

649 隣接チャネルクロストーク

722, 724 有効帯域幅

802, 804, 806, 808, 810, 812 波長分割多重 (WDM) 信号

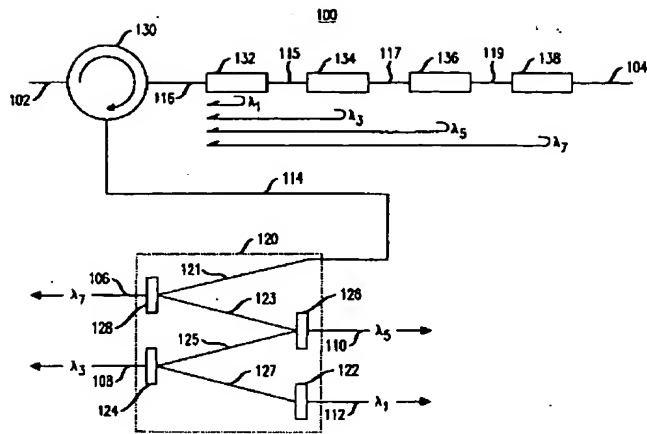
803, 805, 807, 809, 811, 813 スペクトル

908 領域

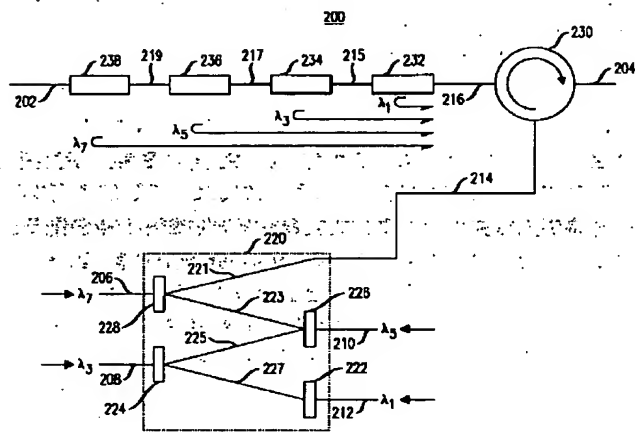
910 限界

912 ガード帯域限界

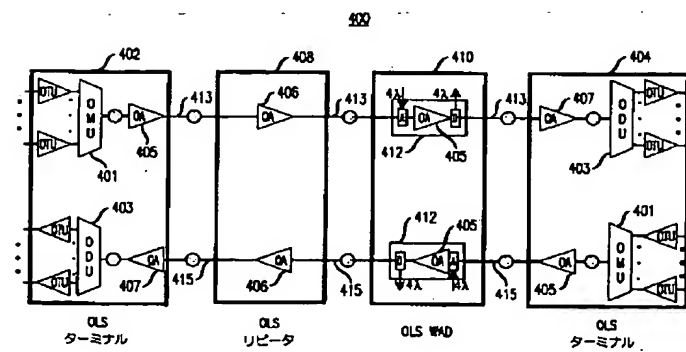
【図1】



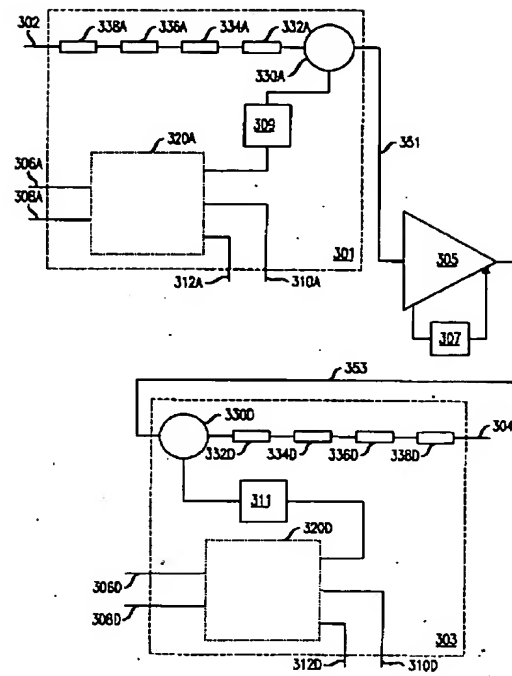
【図2】



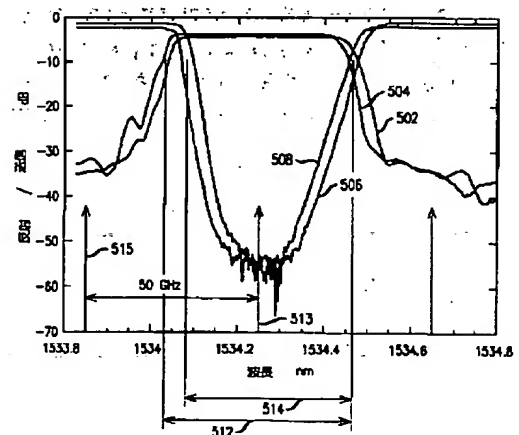
【図4】



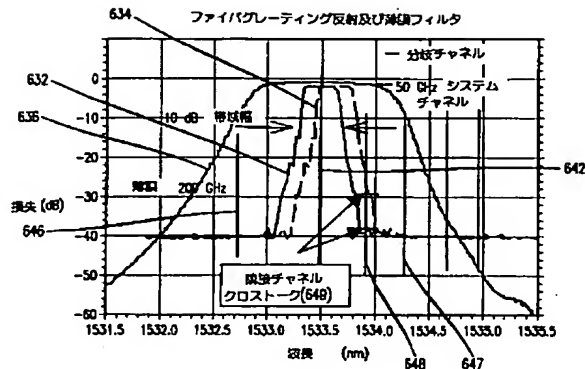
【図3】



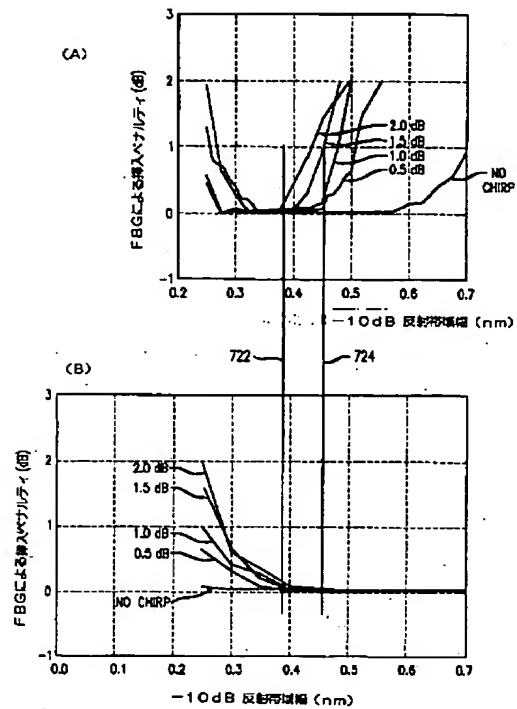
【図5】



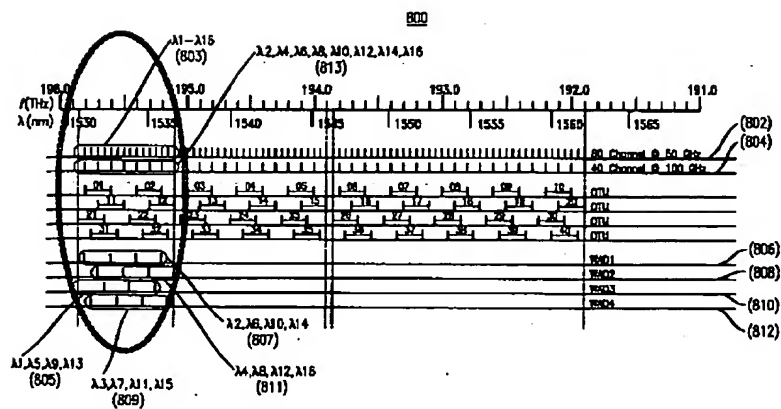
【図6】



【図7】

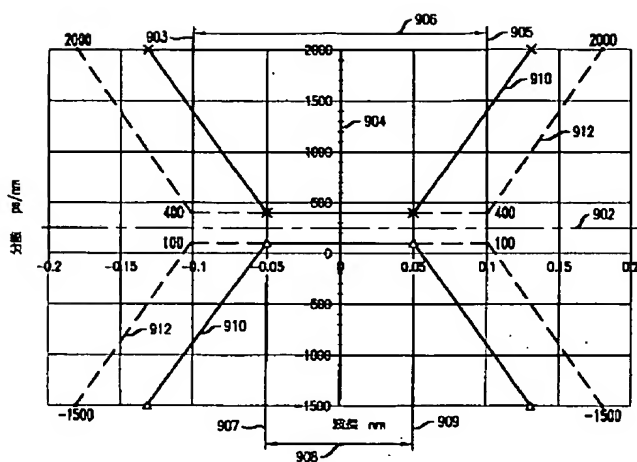


【図8】

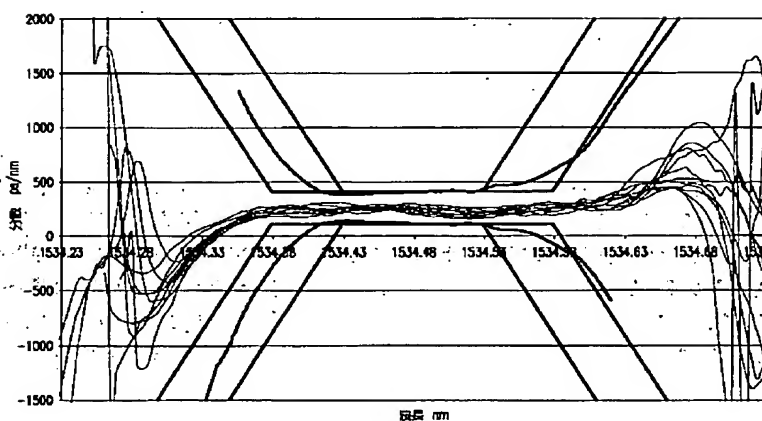




【図9】



【図10】



フロントページの続き

(71)出願人 596077259  
600 Mountain Avenue,  
Murray Hill, New Je  
rsey 07974-0636 U. S. A.

(72)発明者 トーベン エヌ. ニールセン  
アメリカ合衆国、07750 ニュージャージ  
ー、モンマウス、オーシャン アベニュー  
45、アパートメント 8B

(72)発明者 ウィリアム エー トンプソン  
アメリカ合衆国、07701 ニュージャージ  
ー、レッド バンク、トッド ドライブ  
8